

УДК 631.4:[504.61:355.01]

<https://doi.org/10.31713/vs320253>

Грищенко О. М., к.с.-г.н., учений секретар, ORCID: 0000-0002-1241-7183, Паламарчук Р. П., перший заступник генерального директора, ORCID: 0000-0002-5965-1305, Запасний В. С., завідувач відділу, ORCID: 0000-0001-8547-8852, Алексеєнко М. В., науковий співробітник, ORCID: 0000-0003-3078-7759, Грищенко В. О., провідний фахівець, ORCID: 0009-0003-8550-2033 (Державна установа «Інститут охорони ґрунтів України», м. Київ, grischenkoel@ukr.net)

ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТОВОГО ПОКРИВУ РУХОМИМИ СПОЛУКАМИ СВИНЦЮ УНАСЛІДОК БОЙОВИХ ДІЙ НА ТЕРИТОРІЇ ХАРКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

У статті представлено результати агрохімічного та еколого-токсикологічного обстеження земель сільськогосподарського призначення, що зазнали впливу бойових дій на території Харківської області. Метою дослідження було оцінити масштаби забруднення ґрунтів рухомими сполуками свинцю, встановити просторові закономірності його розподілу та визначити потенційні екологічні ризики подальшого використання агроландшафтів.

Дослідження охопили 318 проб ґрунту, відібраних із 16 ділянок Ізюмського, Харківського та Чугуївського районів загальною площею 1389,3 га. Ґрунти досліджених територій характеризуються середньою та високою природною родючістю, частина з них належить до категорії особливо цінних земель Степової Лівобережної провінції.

Визначення вмісту рухомих сполук свинцю (Pb) здійснювали методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії відповідно до вимог ДСТУ 4770.9:2007 у буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8.

Встановлено, що середньозважений уміст рухомих сполук свинцю у післявоєнний період становить 1,37 мг/кг, що на 0,43 мг/кг (42,6 %) перевищує довоєнний рівень (0,94 мг/кг). Найвищі концентрації Pb зафіксовано у межах локальних осередків вибухів, зон згоряння техніки та руйнувань, що підтверджує техногенно-антропогенне походження забруднення. Більшість обстежених

ґрунтів характеризується слабким рівнем забруднення (57,5% площі), тоді як помірний рівень забруднення охоплює 41,8% території. Перевищення гранично допустимої концентрації (ГДК = 6,0 мг/кг) не встановлено. Просторова варіабельність показника (коефіцієнт варіації – 9,1–31,4%) свідчить про локальний характер розподілу металу.

Отримані результати дають підстави розглядати сучасний стан ґрунтів як залишковий прояв воєнного впливу. Для забезпечення екологічної безпеки агроландшафтів рекомендовано впровадження системи постійного моніторингу еколого-токсикологічного стану та проведення рекультиваційних заходів на територіях із підвищеним умістом свинцю.

Ключові слова: агрохімічне обстеження; гранично допустима концентрація; ґрунт; мілітарні дії; моніторинг; рівень забруднення; коефіцієнт варіації.

Постановка проблеми. Свинець (Pb) належить до найбільш поширених і небезпечних техногенних забруднювачів довкілля, що характеризується високою токсичністю та здатністю до біоаккумуляції. Потрапляючи в біосферу, він накопичується у ґрунтах, рослинності, тваринних організмах і зрештою – в організмі людини. Токсична дія свинцю проявляється через розвиток неврологічних, респіраторних, сечостатевих та серцево-судинних розладів, зумовлених його імуномодуляційним, оксидативним та запальним впливом. Крім того, свинець порушує чимало метаболічних і фізіологічних процесів в організмі людини [1].

У ґрунтовому середовищі свинець (Pb) активно адсорбується на колоїдних і органічних частинках, унаслідок чого переважно накопичується у верхніх горизонтах. Його біодоступність визначається хімічною формою, реакцією ґрунтового розчину (pH), вмістом органічної речовини та наявністю конкурентних катіонів. За підвищеної кислотності ґрунту зростає частка рухомих і токсичних форм свинцю. До організму людини Pb надходить переважно з пиловими частинками або з харчовими продуктами [2].

Існує широкий спектр джерел техногенного надходження свинцю в довкілля, серед яких домінують промислові та побутові забруднення. Основними джерелами є процеси видобутку та збагачення руд, діяльність металургійних підприємств, виробництво

аккумуляторів, спалювання твердих побутових і промислових відходів, а також використання мінеральних добрив і пестицидів. Особливу небезпеку становить застосування мінеральних добрив, що часто містять домішки важких металів техногенного походження, тоді як державний контроль за їхнім складом і якістю залишається недостатнім. Це сприяє поступовому накопиченню свинцю у верхніх горизонтах ґрунту та забрудненню сільськогосподарських угідь [3]. Локальні осередки – «гарячі точки» свинцевого забруднення, сформовані поблизу промислових об'єктів, полігонів відходів або територій, що які зазнали впливу бойових дій, становлять суттєвий екологічний та санітарно-гігієнічний ризик для здоров'я населення [4; 5].

Бойові дії, пов'язані зі широкомасштабним вторгненням російської федерації на територію України, призвели до механічної, хімічної та фізичної деградації ґрунтів. Зокрема, зафіксовано підвищення вмісту свинцю (Pb) у ґрунтах, яке у ряді випадків значно перевищує чинні санітарно-гігієнічні норми [6].

Мета і завдання дослідження – встановити межі забруднення земель сільськогосподарського призначення рухомими сполуками свинцю, спричинені наслідками ведення активних бойових дій та оцінити перспективи їх подальшого використання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Активні бойові дії та тривалі військові операції супроводжуються утворенням численних джерел забруднення важкими металами, що призводить до деградації ґрунтових екосистем. Основними чинниками забруднення є руйнування промислових об'єктів і транспортної інфраструктури, пошкодження сховищ відходів, згоряння пально-мастильних матеріалів, залишки вибухових речовин і продуктів детонації боєприпасів, а також корозія металевих уламків військової техніки [7].

Наукові дослідження, проведені в зонах військових полігонів, підтверджують, що свинець є одним із головних забруднювачів ґрунтів на таких територіях. Висока токсичність, хімічна стійкість і здатність до тривалого накопичення свинцю у верхніх горизонтах ґрунту створюють значні ризики для екологічного стану навколишнього середовища та здоров'я населення [8–10].

Свинець, що входить до складу твердих частинок, може потрапляти в ґрунт безпосередньо під час вибухів і детонацій боєприпасів, а надалі – поступово вивільнятися у ґрунтовий розчин

або осідати на поверхні рослин у формі пилу, потрапляючи таким чином у харчовий ланцюг. Забруднені ділянки часто характеризуються підвищеним вмістом Pb унаслідок корозії металевих уламків техніки, осколків боєприпасів і залишків ракетного палива [11].

Дослідження, проведені в регіонах активних бойових дій у Хорватії, Іраку та Україні, підтверджують тривалу екологічну стійкість забруднення рухомими сполуками свинцю. Зокрема, за результатами досліджень Vidosavljević D. та співавт. [12], навіть через 15 років після завершення війни на території Хорватії у зразках ґрунту з колишніх зон інтенсивних бойових дій концентрація Pb залишалася вищою за допустимі норми, встановлені національним законодавством для ведення екологічного землеробства.

За повідомленням Al Lami M. H. та співавт. [13] розподіл окремих важких металів (As, Cu, Sb, Cd, Ag, Ni, Cr, V, Cs, Te, Zn, Mn, Ti) у міських ґрунтах м. Аль-Анбар (Ірак) після війни з ІДІЛ засвідчив їх надзвичайно високі концентрації, що свідчить про значне техногенне навантаження внаслідок ведення бойових дій.

На землях сільськогосподарського призначення у Сумському та Охтирському районах Сумської області внаслідок бойових дій вміст свинцю збільшився у 5,4 раза порівняно з фоновими значеннями [14].

Результати досліджень Petrushka K. та співавт. [15] показали, що всі зразки ґрунту, відібрані на територіях, які зазнали цілеспрямованих ракетних обстрілів у межах Львівського району Львівської області, демонстрували значне перевищення гранично допустимих концентрацій титану (Ti), цинку (Zn), свинцю (Pb) та нікелю (Ni). Розрахований кумулятивний вплив цих елементів свідчить про високий рівень забруднення досліджуваної території.

У Харківській області, за результатами досліджень Solokha M. та співавтори [16], на ділянках із залишками знищеної військової техніки виявлено суттєве перевищення гранично допустимих концентрацій сполук свинцю у ґрунті – у 38,87 раза у 2023 році та в 68,30 раза у 2024 році, що свідчить про надзвичайно високий рівень техногенного навантаження на довкілля та прогресуюче накопичення Pb у верхніх горизонтах ґрунту внаслідок триваючих бойових дій.

Отже, для обґрунтованої оцінки потенційних екологічних ризиків, спричинених забрудненням ґрунтів важкими металами, зокрема свинцем, необхідне проведення системних моніторингових

досліджень ґрунтового покритву. Такі дослідження мають охоплювати як території безпосередніх бойових дій, так і прилеглі зони ураження, що зазнали впливу ракетних обстрілів та атак безпілотних літальних апаратів. Комплексний моніторинг дасть змогу своєчасно визначити масштаби забруднення, оцінити ступінь екологічної небезпеки та розробити заходи щодо відновлення родючості й безпечного використання пошкоджених земель.

Матеріали та методи досліджень. Дослідження виконано відповідно до договору з Міністерством освіти і науки України ДЗ / 168-2025 від 12.02.2025 «Вивчення агрохімічного стану та впливу бойових дій на землях сільськогосподарського призначення для забезпечення сталого агровиробництва».

Об'єктом досліджень були 318 проб ґрунту, відібраних із 16 земельних ділянок загальною площею 1389,3181 га, що зазнали впливу бойових дій на території Ізюмського, Харківського та Чугуївського районів Харківської області (табл. 1).

Таблиця 1

Місця відбору проб для досліджень

№ ділянки	Місце відбору
1	с. Миколаївка Оскільської ТГ Ізюмського р-ну
2, 3	с. Рідне Барвінківської ТГ Ізюмського р-ну
4, 5, 6	с-ще Рогань Роганської селищної громади Харківського р-ну
6, 7	с-ще Докучаєвське Роганської ТГ Харківського р-ну
8	с. Бригадирівка Ізюмської ТГ Ізюмського р-ну
9	с-ще Малинівка Малинівської ТГ Чугуївського р-ну
10	с-ще Гракове Чкаловської ТГ Ізюмського р-ну
11, 12	с. Копитолівка Оскільської ТГ Ізюмського р-ну
13	с. Олександрівка Куньєвської ТГ Ізюмського р-ну
14	с. Левківка Ізюмської ТГ Ізюмського р-ну
15	с. Поляна Куньєвської ТГ Ізюмського р-ну
16	с. Комарівка Оскільської ТГ Ізюмського р-ну

У табл. 2 наведено результати фіксації наслідків бойових дій на досліджуваних територіях, виявлених землевласниками після відходу російських окупаційних військ.

Таблиця 2

Дані про ушкодження території внаслідок ведення бойових дій

№ ділянки	Інформація про мілітарний вплив
1	Мінування, артилерійські та мінометні обстріли, у тому числі касетними боєприпасами, пересування військової техніки. Виявлено значну кількість вирв глибиною 40–50 см та діаметром до 1,5 м
2	Мінування, артилерійські та мінометні обстріли, пересування військової техніки. Виявлено 16 вирв глибиною 1,0–1,5 м та діаметром 3–4 м, фортифікаційні споруди, сліди пожеж, розливи нафтопродуктів, знищену техніку та близько 760 протитанкових мін і касетних боєприпасів
3	Мінування, артилерійські та мінометні обстріли, детонація протитанкових мін, пересування військової техніки. Виявлено 10 вирв глибиною 1,0–1,5 м та діаметром 3 м, фортифікаційні споруди, сліди пожеж, розливи нафтопродуктів, знищену техніку та близько 300 протитанкових мін і касетних боєприпасів
4	Артилерійські та мінометні обстріли. Виявлено незначну кількість вирв глибиною до 1 м, залишки боєприпасів, зокрема касетні та їх носії
5	Мінування, артилерійські та мінометні обстріли, вибухи під час детонації мін і розтяжок, пересування військової техніки. Виявлено сліди пожеж, розливи нафтопродуктів
6	Мінування, артилерійські та мінометні обстріли, пересування військової техніки. Виявлено численні поверхневі пошкодження, 1 вирву глибиною 0,5 м та діаметром 5 м, залишки фортифікаційних споруд, сліди пожеж, значну кількість осколків
7	Мінування, артилерійські та мінометні обстріли, пересування військової техніки. Виявлено численні поверхневі пошкодження, 3 вирви глибиною 0,7 м та діаметром близько 10 м, залишки фортифікаційних споруд, сліди пожеж, знищену техніку та значну кількість осколків

продовження табл. 2

8	Артилерійські та мінометні обстріли, пересування військової техніки. Виявлено бліндажі та окопи, сліди пожеж
9	Мінування, авіаційні, артилерійські та мінометні обстріли, пересування військової техніки. Виявлено численні поверхневі пошкодження, 5 вирв глибиною від 0,5 до 1 м та діаметром близько 1,5 м, значну кількість боєприпасів та їх залишків
10	Мінування, ракетні, артилерійські та мінометні обстріли, пересування військової техніки. Виявлено 7 вирв глибиною 0,5–1,0 м та шириною 1–1,5 м, значну кількість боєприпасів
11, 12	Ракетні, артилерійські та мінометні обстріли, пересування військової техніки. Виявлено вирви глибиною до 1 м і шириною 1,5 м, залишки зброї та боєприпасів
13	Обстріли, пересування військової техніки. Виявлено значну кількість вирв від касетних боєприпасів глибиною близько 0,5 м і шириною 1,5 м, залишки зброї та боєприпасів, зокрема фрагменти ракет
14	Ракетні, артилерійські та мінометні обстріли, пересування військової техніки. Виявлено капоніри, сліди пожеж, велику кількість вирви глибиною до 1,5 м і шириною до 2 м, залишки зброї та боєприпасів, фрагменти ракет
15	Ракетні, артилерійські та мінометні обстріли, пересування військової техніки. Виявлено 5 вирв глибиною до 0,8 м і шириною до 1,5 м, залишки зброї та боєприпасів, фрагменти ракет
16	Ракетні, артилерійські та мінометні обстріли, пересування військової техніки. Виявлено 10 вирв глибиною до 0,5 м і шириною до 1,5 м, залишки зброї та боєприпасів, фрагменти ракет

Ґрунти досліджуваних ділянок характеризуються високим та середнім рівнем природної родючості. Окремі з них (53е, 54д, 54е, 58е) належать до категорії особливо цінних ґрунтів Степової Лівобережної провінції, що підкреслює їх важливе значення для сільськогосподарського виробництва. Це зумовлює необхідність особливо ретельного підходу до оцінки впливу зовнішніх факторів,

зокрема забруднення важкими металами, яке може призвести до зниження родючості та деградації ґрунтового покриву (табл. 3).

Таблиця 3

Агровиробничі групи ґрунтів на обстежених ділянках

№ ділянки	Шифр та назва агровиробничої групи
1	58е – чорноземи звичайні середньогумусні глибокі важкосуглинкові і легкоглинисті (особливо цінні ґрунти), 65е – чорноземи звичайні слабозмиті важкосуглинкові і легкоглинисті, 67е – чорноземи звичайні сильнозмиті важкосуглинкові і легкоглинисті
2	58е – чорноземи звичайні середньогумусні глибокі важкосуглинкові і легкоглинисті (особливо цінні ґрунти), 65е – чорноземи звичайні слабозмиті важкосуглинкові і легкоглинисті, 66е – чорноземи звичайні середньозмиті важкосуглинкові і легкоглинисті
3	58е – чорноземи звичайні середньогумусні глибокі важкосуглинкові і легкоглинисті (особливо цінні ґрунти), 66е – чорноземи звичайні середньозмиті важкосуглинкові і легкоглинисті
4	54е – чорноземи типові середньогумусні важкосуглинкові (особливо цінні ґрунти), 55е – чорноземи типові і чорноземи сильнореградовані слабозмиті важкосуглинкові і легкоглинисті, 56е – чорноземи типові і легкоглинисті і чорноземи сильнореградовані середньозмиті важкосуглинкові
5	49е – темно-сірі опідзолені і реградовані ґрунти та чорноземи опідзолені і реградовані слабозмиті важкосуглинкові, 54д – чорноземи типові середньогумусні середньосуглинкові (особливо цінні ґрунти), 54е – чорноземи типові середньогумусні важкосуглинкові (особливо цінні ґрунти), 55е – чорноземи типові і чорноземи сильнореградовані слабозмиті важкосуглинкові і легкоглинисті
6, 7	54е – чорноземи типові середньогумусні важкосуглинкові (особливо цінні ґрунти), 55е – чорноземи типові і чорноземи сильнореградовані слабозмиті важкосуглинкові і легкоглинисті, 56е – чорноземи типові і легкоглинисті і чорноземи сильнореградовані середньозмиті важкосуглинкові

продовження табл. 3

8	58е – чорноземи звичайні середньогумусні глибокі важкосуглинкові і легкоглинисті (<i>особливо цінні ґрунти</i>), 65е – чорноземи звичайні слабозмиті важкосуглинкові і легкоглинисті, 66е – чорноземи звичайні середньозмиті важкосуглинкові і легкоглинисті, 89е – чорноземи середньо- і сильносолонцюваті на щільних глинах слабозмиті важкосуглинкові, 215е – розмиті важкосуглинкові і легкоглинисті ґрунти і відходи рихлих лесовидних порід
9	55е – чорноземи типові і чорноземи сильнореградовані слабозмиті важкосуглинкові і легкоглинисті, 53е – чорноземи типові малогумусні та чорноземи сильнореградовані важкосуглинкові (<i>особливо цінні ґрунти</i>), 54е – чорноземи типові середньогумусні важкосуглинкові (<i>особливо цінні ґрунти</i>)
10	53е – чорноземи типові малогумусні та чорноземи сильнореградовані важкосуглинкові (<i>особливо цінні ґрунти</i>)
11	58е – чорноземи звичайні середньогумусні глибокі важкосуглинкові і легкоглинисті (<i>особливо цінні ґрунти</i>), 65е – чорноземи звичайні слабозмиті важкосуглинкові і легкоглинисті
12	58е – чорноземи звичайні середньогумусні глибокі важкосуглинкові і легкоглинисті (<i>особливо цінні ґрунти</i>), 65е – чорноземи звичайні слабозмиті важкосуглинкові і легкоглинисті, 67е – чорноземи звичайні сильнозмиті важкосуглинкові і легкоглинисті
13	58е – чорноземи звичайні середньогумусні глибокі важкосуглинкові і легкоглинисті (<i>особливо цінні ґрунти</i>), 65е – чорноземи звичайні слабозмиті важкосуглинкові і легкоглинисті
14	65е – чорноземи звичайні слабозмиті важкосуглинкові і легкоглинисті
15, 16	65е – чорноземи звичайні слабозмиті важкосуглинкові і легкоглинисті, 58е – чорноземи звичайні середньогумусні глибокі важкосуглинкові і легкоглинисті (<i>особливо цінні ґрунти</i>)

Для підвищення точності оцінювання агрохімічного стану ґрунтового покриву досліджуваних територій застосовано деталізовану схему відбору проб. Земельні масиви поділяли на

елементарні ділянки площею до 5 га, що істотно менше порівняно зі стандартною щільністю сітки під час агрохімічної паспортизації. Такий підхід забезпечує вищу просторову роздільну здатність, дає змогу точніше локалізувати осередки забруднення або деградації ґрунтів і формувати науково обґрунтовані рекомендації щодо їх подальшого використання.

Відбір проб ґрунту здійснювали відповідно до вимог ДСТУ 4287:2004 «Якість ґрунту. Відбирання проб», із застосуванням сучасного GPS-обладнання для фіксації координат точок відбору. Проби відбирали з орного 0–30 см шару, який є репрезентативним для оцінки техногенного забруднення, оскільки саме в цьому горизонті зосереджуються основні процеси акумуляції рухомих форм важких металів і відбувається їхній контакт із кореневими системами рослин.

Лабораторний аналіз відібраних проб ґрунту проводили в атестованій лабораторії Північно-східного міжрегіонального центру ДУ «Держґрунтохорона», сертифікованій відповідно до вимог ДСТУ ISO 10012:2025. Визначення вмісту рухомих сполук свинцю у ґрунтах виконували згідно з чинним нормативно-методичним документом ДСТУ 4770.9:2007 [17].

Оцінку еколого-токсикологічного стану ґрунтів за вмістом рухомих сполук свинцю та визначення придатності земельних ділянок для вирощування сільськогосподарських культур здійснювали шляхом порівняння фактичних концентрацій з показниками довоєнного періоду (фонові значення), гранично допустимими концентраціями (ГДК) відповідно до чинних нормативів [18] та групування ґрунтів за вмістом рухомих форм елементів-забруднювачів [19].

Для оцінки однорідності вибірки та достовірності отриманих середніх значень визначали коефіцієнт варіації (V , %), який відображає ступінь розсіювання окремих показників відносно середнього арифметичного та слугує критерієм статистичної однорідності даних. Згідно з класифікацією, варіація вважається: слабкою при $V \leq 5\%$, помірною – 6–10%, значною – 10–20%, великою – 21–50%, дуже великою – $V > 50\%$.

Статистичну обробку експериментальних даних здійснювали із використанням програмних пакетів Microsoft Excel та Statistica 6.0, що забезпечувало коректність розрахунків, перевірку

достовірності отриманих результатів і побудову аналітичних залежностей між досліджуваними показниками.

Виклад основного матеріалу дослідження. Після бойових дій на територіях України відзначається підвищення вмісту рухомих сполук свинцю у верхніх горизонтах ґрунтів, що зумовлено надходженням металу внаслідок детонації боєприпасів, згоряння військової техніки та руйнування інфраструктури. Найбільше накопичення свинцю спостерігається у важких суглинкових і глинистих, а також кислих ґрунтах ($\text{pH} < 6$), де свинець утворює стійкі комплекси з гумусовими та глинистими колоїдами, концентруючись переважно у верхніх шарах. У піщаних і малогумусних ґрунтах свинець перебуває у більш рухомих формах, що підвищує його біодоступність. Найменше накопичення характерне для карбонатних і нейтральних чорноземів, у яких Pb переходить у малорозчинні сполуки (PbCO_3 , Pb(OH)_2). Спосіб і глибина проведення обробітку ґрунту істотно впливає на розподіл металу: глибока оранка сприяє переміщенню свинцю вниз за ґрунтовим профілем, тоді як безполицевий обробіток сприяє його накопиченню у поверхневому шарі. Внесення вапнякових і органічних добрив знижує рухомість сполук Pb, переводячи його у менш токсичні форми.

За результатами досліджень встановлено, що середньозважений вміст рухомих сполук свинцю у ґрунтах становить 1,37 мг/кг, що відповідає слабкому рівню забруднення, але наближеному до межі помірного забруднення. У межах досліджених ділянок значення варіювали від 1,08 до 1,93 мг/кг, що відповідає слабо-помірному рівню забруднення (табл. 4).

Найвищі концентрації свинцю зафіксовано в с. Рідне Барвінківської територіальної громади Ізюмського району – на ділянках № 2 (1,92 мг/кг) та № 3 (1,93 мг/кг), що відповідає помірному рівню забруднення. Підвищені показники також відзначено в населених пунктах Рогань, Малинівка, Гракове та Поляна – відповідно на ділянках № 4, 5, 9, 10 та 15 (1,48–1,65 мг/кг).

Решта досліджених ділянок (№ 1, 6–8, 11–14 та 16; див. табл. 2) характеризуються слабким рівнем забруднення, із вмістом свинцю в межах 1,08–1,37 мг/кг. Найнижчий показник рухомих сполук свинцю зафіксовано в с. Комарівка Оскільської територіальної громади Ізюмського району – на ділянці № 16 (1,08 мг/кг). Перевищення гранично допустимої концентрації (ГДК) не встановлено на жодній із досліджених ділянок, що свідчить про відносну екологічну безпечність ґрунтів зазначених територіальних громад Харківської

області.

У межах елементарних ділянок вміст рухомих сполук свинцю варіював 0,70 до 2,79 мг/кг, при цьому коефіцієнт варіації становив 9,1 –31,4%. Такий широкий діапазон свідчить про просторову неоднорідність забруднення, зумовлену різною інтенсивністю бойових дій, характером техногенного навантаження та властивостями ґрунтів щодо акумуляції важких металів.

Таблиця 4

Вміст рухомих сполук свинцю у ґрунтах земельних ділянок, які зазнали впливу бойових дій на території Харківської області

№ ділянки	Площа ділянки, га	Середньозважений вміст, мг/кг ґрунту	Рівень забруднення	Стандартна помилка	Середньоквадратичне відхилення
1	95,578	1,29	слабкий	0,04	0,21
2	38,2468	1,92	помірний	0,07	0,22
3	16,7096	1,93	помірний	0,10	0,21
4	50,0000	1,55	помірний	0,13	0,44
5	40,0000	1,57	помірний	0,14	0,49
6	54,4026	1,25	слабкий	0,09	0,32
7	27,7619	1,24	слабкий	0,04	0,11
8	279,4175	1,18	слабкий	0,03	0,22
9	101,3783	1,50	помірний	0,07	0,33
10	96,2857	1,48	помірний	0,05	0,24
11	31,9314	1,13	слабкий	0,08	0,24
12	89,5741	1,26	слабкий	0,07	0,32
13	136,3257	1,37	слабкий	0,04	0,21
14	140,0085	1,37	слабкий	0,04	0,22
15	136,703	1,65	помірний	0,03	0,17
16	54,9950	1,08	слабкий	0,05	0,19
Середньозважений вміст	1389,3181	1,37	слабкий		
Стандартна помилка		0,06			
Середньоквадратичне відхилення		0,26			
Коефіцієнт варіації		18,6			
Min		1,08			
Max		1,93			

Підвищені концентрації свинцю, ймовірно, формуються у місцях вибухів, руйнування інфраструктурних об'єктів або згоряння військової техніки, тоді як нижчі значення відповідають фоновим умовам або зонам розсіяного забруднення. Така просторово виражена мозаїчність свідчить про локальний характер накопичення сполук свинцю у ґрунтовому покриві та підтверджує домінування антропогенного чинника, зокрема впливу бойових дій, у формуванні його вмісту.

Найбільшу варіабельність вмісту рухомих сполук свинцю (31,4%) і середній рівень забруднення зафіксовано на ділянці №5 (селище Рогань, Харківський район). Це пояснюється наявністю локальних осередків накопичення свинцю у місцях вибухів і згорання військової техніки, а також морфогенетичними особливостями ґрунтів – чергуванням чорноземів і темно-сірих опідзолених ґрунтів із нижчою буферною здатністю.

Більшість досліджених ділянок характеризуються коефіцієнтом варіації 10–25%, що відповідає середній просторовій мінливості, типовій для територій із дифузним (розсіяним) типом забруднення. Вищі показники варіації (>25–30%) підтверджують наявність локальних техногенних осередків, які формуються внаслідок вибухів, пожеж та розсіювання уламків військової техніки. Підвищена варіабельність може розглядатися як індикатор інтенсивності техногенного навантаження та просторової складності процесів розповсюдження сполук свинцю на територіях, що зазнали впливу військового впливу.

За результатами досліджень встановлено, що переважна більшість обстежених земель характеризуються слабким рівнем забруднення рухомими сполуками свинцю – 57,5% від загальної площі. Ґрунти з помірним рівнем забруднення займають 41,8% території, тоді як середній рівень зафіксовано лише на 0,1% площі. Частка земель без ознак забруднення є незначною – до 1%, що свідчить про помітний вплив бойових дій на верхній шар ґрунтового покриву досліджуваних територій Харківської області (рисунок).

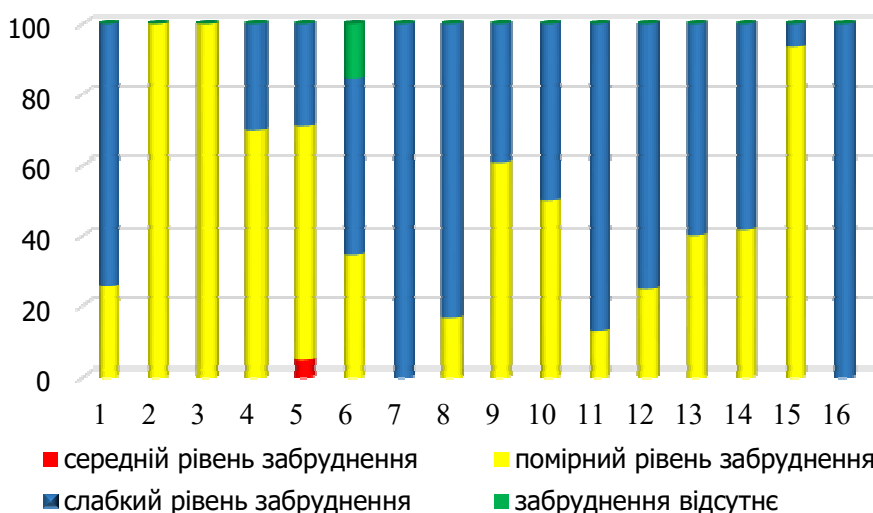


Рисунок. Розподіл площ досліджених ділянок за рівнем забруднення ґрунтів рухомими сполуками свинцю, %

Згідно з отриманими даними, у післявоєнний період вміст сполук свинцю у ґрунтах збільшився в середньому на 0,43 мг/кг, що становить 42,6% порівняно з фоновим рівнем довоєнного періоду.

Підвищення концентрацій Pb зафіксовано на 15 із 16 досліджених ділянок, причому на більшості з них спостерігається перехід рівня забруднення зі «слабкого» до «помірного» – на ділянках № 2–5, 9, 10 та 15 (див. табл. 2). Водночас на ділянках № 8, 11 та 12, які до війни вважалися чистими, зафіксовано перехід до слабкого рівня забруднення. Найбільше зростання концентрації свинцю спостерігається на ділянках № 2–4, 9, 10 – на 65–92% порівняно з фоновими значеннями довоєнного періоду. Лише на ділянці № 16 (с. Комарівка, Оскільська ТГ, Ізюмський район) вміст рухомих сполук свинцю залишився майже незмінним (–2%), що свідчить про відсутність суттєвого техногенного навантаження.

Розмах варіації післявоєнних показників умісту свинцю становить 1,08–1,93 мг/кг, тоді як у довоєнний період цей діапазон коливався в межах 0,5–1,2 мг/кг. Коефіцієнт варіації післявоєнних даних становить 18,6%, що вказує на середній рівень просторової неоднорідності розподілу Pb у ґрунтах. Для порівняння, у довоєнний період коефіцієнт варіації становив 23,8%, що відображає природну

варіабельність просторового розподілу рухомих сполук свинцю у ґрунтовому середовищі за відсутності суттєвого техногенного впливу.

Таблиця 5

Порівняльна оцінка вмісту рухомих сполук свинцю у ґрунтах у довоєнний та післявоєнний періоди

№ ділянки	Уміст свинцю у післявоєнний період		Уміст свинцю у довоєнний період		± до середньозваженого показника	% до довоєнного показника	± до показників у межах елементарних ділянок
	мг/кг	рівень забруднення	мг/кг	рівень забруднення			
1	1,29	слабке	1,0	слабке	+0,29	29	-0,04...+0,60
2	1,92	помірне	1,0	слабке	+0,92	92	+0,57...+1,28
3	1,93	помірне	1,2	слабке	+0,73	73	+0,54...+1,01
4	1,55	помірне	0,9	слабке	+0,65	65	-0,04...+1,69
5	1,57	помірне	1,1	слабке	+0,47	47	-0,14...+0,67
6	1,25	слабке	0,8	слабке	+0,45	45	-0,10...+0,97
7	1,24	слабке	0,8	слабке	+0,44	44	+0,25...+0,58
8	1,18	слабке	0,7	відсутнє	+0,48	48	+0,11...+1,00
9	1,50	помірне	0,8	слабке	+0,70	70	+0,07...+1,11
10	1,48	помірне	1,0	слабке	+0,48	48	+0,09...+0,96
11	1,13	слабке	0,5	відсутнє	+0,63	63	+0,46...+1,19
12	1,26	слабке	0,6	відсутнє	+0,66	66	+0,25...+1,72
13	1,37	слабке	1,2	слабке	+0,17	17	-0,20...+0,61
14	1,37	слабке	1,2	слабке	+0,17	17	-0,18...+0,67
15	1,65	помірне	1,2	слабке	+0,45	45	-0,02...+0,72
16	1,08	слабке	1,1	слабке	-0,02	-2	-0,25...+0,25
Середньо-зважений уміст	1,37	слабке	0,94	слабке	+0,43	42,6	
Стандартна помилка	0,06		0,06				
Середньо-квадратичне відхилення	0,26		0,23				
Коефіцієнт варіації	18,6		23,8				
Min	1,08		0,50				
Max	1,93		1,2				

Діапазони змін вмісту свинцю у межах елементарних ділянок підтверджують локальний характер забруднення: на окремих ділянках варіація незначна (+0,25...+0,58), тоді як на інших – суттєва (–0,04...+1,72). Найвищі концентрації свинцю зафіксовано у місцях вибухів, руйнувань, згоряння техніки та розсіювання металевих частинок, що безпосередньо вказує на антропогенне походження забруднення.

Більшість обстежених територій характеризується слабким рівнем забруднення, який спостерігається майже на всіх ділянках і відображає широкомасштабний техногенний вплив бойових дій. Водночас підвищення концентрацій свинцю загалом можна вважати помірним, що обумовлено агрохімічними властивостями чорноземів, зокрема високим вмістом гумусу (3,24–5,23%) та нейтральною або слаболужною реакцією ґрунтового розчину (рН 5,5–7,1). Такі властивості сприяють фіксації Pb у важкорозчинних сполуках і знижують його рухомість у ґрунтовому профілі.

Після завершення активних бойових дій досліджувані землі були повторно залучені до сільськогосподарського використання. Проведення механічного обробітку ґрунту, внесення органічних і мінеральних добрив, а також атмосферне зволоження сприяють поступовому переміщенню свинцю у глибші горизонти, його частковому засвоєнню рослинами та перерозподілу у ґрунтовому середовищі, що з часом знижує концентрації сполук Pb у верхньому орному шарі.

Отримані результати свідчать, що сучасний стан ґрунтів можна розцінювати як залишковий прояв воєнного впливу, наслідки якого поступово нівелюються під дією природних процесів самоочищення та відновлення, а також завдяки активному господарському використанню земельних угідь на забруднених територіях.

Виявлення земельних ділянок із помірним рівнем забруднення підтверджує просторову неоднорідність розподілу сполук свинцю у ґрунтовому покриві та підкреслює необхідність подальшого системного моніторингу, який включає детальне картографування зон із підвищеним умістом Pb для оцінки екологічних ризиків і планування заходів із відновлення порушених (забруднених) земель.

Висновок. Середньозважений вміст рухомих сполук свинцю у ґрунтах після завершення бойових дій становить 1,37 мг/кг, що на 0,43 мг/кг (42,6%) перевищує довоєнний фоновий рівень. Переважна

більшість обстежених земельних угідь (близько 57,5%) має слабкий рівень забруднення, тоді як помірно рівень фіксується на 42% території. Перевищення гранично допустимої концентрації (ГДК) свинцю не виявлено, що свідчить про відсутність критичної екологічної загрози, однак вимагає постійного контролю, особливо у зонах із підвищеним антропогенним навантаженням.

Максимальні концентрації Рb встановлено на ділянках локальних вибухів боєприпасів, займання чи руйнування військової техніки, що безпосередньо підтверджує антропогенне походження забруднення. Високий вміст гумусу (3,2–5,2%) та нейтральна або слаболужна реакція ґрунтового розчину (рН 6,5–7,1) істотно знижують рухомість свинцю, сприяючи його переходу у малодоступні форми та фіксації у ґрунтовому вбирному комплексі.

Для забезпечення екологічної безпеки агроландшафтів, відновлення родючості ґрунтів і запобігання накопиченню токсичних елементів необхідно впровадити систему моніторингових досліджень щодо визначення вмісту свинцю та інших важких металів у післявоєнний період. Це дозволить оцінити динаміку трансформації рівнів забруднення, визначити зони потенційного ризику та розробити ефективні регіональні програми екологічної реабілітації земель.

1. Balali-Mood M., Naseri K., Tahergorabi Z., Khazdair M. R., Sadeghi M. Toxic Mechanisms of Five Heavy Metals: Mercury, Lead, Chromium, Cadmium, and Arsenic. *Frontiers in pharmacology*. 2021. Vol. 12. P. 643972. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.643972>. 2. Das S., Sultana K. W., Ndhlala A. R., Mondal M., Chandra I. Heavy Metal Pollution in the Environment and Its Impact on Health: Exploring Green Technology for Remediation. *Environmental health insights*. 2023. Vol. 17. 11786302231201259. DOI: <https://doi.org/10.1177/11786302231201259>. 3. Куліджанов Е. В., Голубченко В. Ф., Віляєва С. Д., Грицай Т. Л. Необхідність у моніторингу мінеральних добрив на вміст забруднюючих речовин. *Агроекологічний журнал*. 2021. № 3. С. 136–149. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2022.263330>. 4. Bouida L., Rafatullah M., Kerrouche A., Qutob M., Alosaimi A. M. and all. Review on Cadmium and Lead Contamination: Sources, Fate, Mechanism. *Health Effects and Remediation Methods. Water*. 2022. Vol. 14(21). P. 3432. DOI: <https://doi.org/10.3390/w14213432>. 5. Souvent P., Pirc S. Pollution caused by metallic fragments introduced into soils because of World War I activities. *Environmental Geology*. 2001. Vol. 40. С. 317–323. DOI: <https://doi.org/10.1007/s002540000156>. 6. Solokha M., Demyanyuk O., Symochko L., Mazur S., Vynokurova N. and all. Soil Degradation and

Contamination Due to Armed Conflict in Ukraine. *Land*. 2024. Vol. 13 (10). P. 1614. DOI: <https://doi.org/10.3390/land13101614>. **7.** Altahaan Z., Dobslaw D. The Impact of War on Heavy Metal Concentrations and the Seasonal Variation of Pollutants in Soils of the Conflict Zone and Adjacent Areas in Mosul City. *Environments*. 2024. Vol. 11(11). P. 247. DOI: <https://doi.org/10.3390/environments11110247>. **8.** Sanderson P., Naidu R., Bolan N., Lim J. E., Ok Y. S. Chemical stabilisation of lead in shooting range soils with phosphate and magnesium oxide: Synchrotron investigation. *Journal of Hazardous Materials*. 2015. Vol. 299. P. 395–403. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.06.056>. **9.** Mendes G. P., Soares L. C., Viegas R. M. A., Chiovone-Filho O., Nascimento C. A. O. Lead (Pb) in shooting range soil: a systematic literature review of contaminant behavior, risk assessment, and remediation options. *Water Air Soil Pollut*. 2024. Vol. 235, Issue 1. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-023-06783-x>. **10.** Barker A. J., Clausen J. L., Douglas T. A., Bednar A. J., Griggs C. S., Martin W. A. Environmental impact of metals resulting from military training activities: A review. *Chemosphere*. 2021. Vol. 265. P. 129110. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129110>. **11.** Hryhorczuk D., Levy B. S., Prodanchuk M., Kravchuk O., Bubalo N. and all. The environmental health impacts of Russia's war on Ukraine. *Journal of occupational medicine and toxicology* (London, England). 2024. Vol. 19(1), Issue 1. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12995-023-00398-y>. **12.** Vidosavljević D., Puntar D., Gvozdi V., Jergovi M., Miškulin M., Puntar I. and all. Soil contamination as a possible long-term consequence of war in Croatia. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*. 2013. Vol. 63(4). P. 322–329. DOI: <https://doi.org/10.1080/09064710.2013.777093>. **13.** Al Lami M. H., Al Obaidy A. H. M. J., Al Sudani I. M. Assessment of ecological pollution of heavy metals in surface soils of different sites within northwest of Iraq IOP Conf. Series: *Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 779. P. 012063. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/779/1/012063>. **14.** Зайцев Ю. О., Грищенко О. М., Романова С. А., Зайцева І. О. Вплив бойових дій на вміст валових форм важких металів у ґрунтах Сумського та Охтирського р-нів Сумської обл. *Агроєкологічний журнал*. 2022. Вип. 3. С. 136–149. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2022.266419>. **15.** Petrushka K., Malovanyy M. S., Skrzypczak D., Chojnacka K., Warchol J. Risks of Soil Pollution with Toxic Elements During Military Actions in Lviv. *Journal of Ecological Engineering*. 2024. Vol. 25(1). P. 195–208. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/175136>. **16.** Solokha M., Melnyk O., Cannon N., Horton M., Datsko O., O'Connor D. Assessment of soil cover chemical pollution using satellite data: A case study of Kharkiv region, Ukraine. *Science of The Total Environment*. 2025. Vol. 995. P. 180105. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.180105>. **17.** ДСТУ 4770.9:2007. Якість

ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук свинцю в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009-01-01]. Вид. офіц. Київ : «Держспоживстандарт», 2009. 18. Про затвердження нормативів гранично допустимих концентрацій небезпечних речовин у ґрунтах, а також переліку таких речовин : Постанова від 17.12.2021 р. № 243. *Урядовий кур'єр*. 2021. 19. Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення / за ред. І. П. Яцука, С. А. Балюка. К., 2019. 108 с.

REFERENCES:

1. Balali-Mood M., Naseri K., Tahergorabi Z., Khazdair M. R., Sadeghi M. Toxic Mechanisms of Five Heavy Metals: Mercury, Lead, Chromium, Cadmium, and Arsenic. *Frontiers in pharmacology*. 2021. Vol. 12. P. 643972. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.643972>.
2. Das S., Sultana K. W., Ndhlala A. R., Mondal M., Chandra I. Heavy Metal Pollution in the Environment and Its Impact on Health: Exploring Green Technology for Remediation. *Environmental health insights*. 2023. Vol. 17. 11786302231201259. DOI: <https://doi.org/10.1177/11786302231201259>.
3. Kulidzhanov E. V., Holubchenko V. F., Viliaieva S. D., Hrytsai T. L. Neobkhidnist u monitorynhu mineralnykh dobyrv na vmist zabrudniuiuchykh rehovyn. *Ahroekolohichniy zhurnal*. 2021. № 3. С. 136–149. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2022.263330>.
4. Boudia L., Rafatullah M., Kerrouche A., Qutob M., Alosaimi A. M. and all. Review on Cadmium and Lead Contamination: Sources, Fate, Mechanism. *Health Effects and Remediation Methods. Water*. 2022. Vol. 14(21). P. 3432. DOI: <https://doi.org/10.3390/w14213432>.
5. Souvent P., Pirc S. Pollution caused by metallic fragments introduced into soils because of World War I activities. *Environmental Geology*. 2001. Vol. 40. С. 317–323. DOI: <https://doi.org/10.1007/s002540000156>.
6. Solokha M., Demyanyuk O., Symochko L., Mazur S., Vynokurova N. and all. Soil Degradation and Contamination Due to Armed Conflict in Ukraine. *Land*. 2024. Vol. 13 (10). P. 1614. DOI: <https://doi.org/10.3390/land13101614>.
7. Altahaan Z., Dobslaw D. The Impact of War on Heavy Metal Concentrations and the Seasonal Variation of Pollutants in Soils of the Conflict Zone and Adjacent Areas in Mosul City. *Environments*. 2024. Vol. 11(11). P. 247. DOI: <https://doi.org/10.3390/environments11110247>.
8. Sanderson P., Naidu R., Bolan N., Lim J. E., Ok Y. S. Chemical stabilisation of lead in shooting range soils with phosphate and magnesium oxide: Synchrotron investigation. *Journal of Hazardous Materials*. 2015. Vol. 299. P. 395–403. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.06.056>.
9. Mendes G. P., Soares L. C., Viegas R. M. A., Chiavone-Filho O., Nascimento C. A. O. Lead (Pb) in shooting

range soil: a systematic literature review of contaminant behavior, risk assessment, and remediation options. *Water Air Soil Pollut.* 2024. Vol. 235, Issue 1. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-023-06783-x>. **10.** Barker A. J., Clausen J. L., Douglas T. A., Bednar A. J., Griggs C. S., Martin W. A. Environmental impact of metals resulting from military training activities: A review. *Chemosphere*. 2021. Vol. 265. P. 129110. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129110>. **11.** Hryhorczuk D., Levy B. S., Prodanchuk M., Kravchuk O., Bubalo N. and all. The environmental health impacts of Russia's war on Ukraine. *Journal of occupational medicine and toxicology* (London, England). 2024. Vol. 19(1), Issue 1. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12995-023-00398-y>. **12.** Vidosavljević D., Puntar D., Gvozdi V., Jergovi M., Miškulin M., Puntar I. and all. Soil contamination as a possible long-term consequence of war in Croatia. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*. 2013. Vol. 63(4). P. 322–329. DOI: <https://doi.org/10.1080/09064710.2013.777093>. **13.** Al Lami M. H., Al Obaidy A. H. M. J., Al Sudani I. M. Assessment of ecological pollution of heavy metals in surface soils of different sites within northwest of Iraq IOP Conf. Series: *Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 779. P. 012063. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/779/1/012063>. **14.** Zaitsev Yu. O., Hryshchenko O. M., Romanova S. A., Zaitseva I. O. Vplyv boiovykh dii na vmist valovykh form vazhkykh metaliv u gruntakh Sumskoho ta Okhtyrskoho r-niv Sumskoi obl. *Ahroekolohichniy zhurnal*. 2022. Vyp. 3. S. 136–149. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2022.266419>. **15.** Petrushka K., Malovanyy M. S., Skrzypczak D., Chojnacka K., Warchol J. Risks of Soil Pollution with Toxic Elements During Military Actions in Lviv. *Journal of Ecological Engineering*. 2024. Vol. 25(1). P. 195–208. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/175136>. **16.** Solokha M., Melnyk O., Cannon N., Horton M., Datsko O., O'Connor D. Assessment of soil cover chemical pollution using satellite data: A case study of Kharkiv region, Ukraine. *Science of The Total Environment*. 2025. Vol. 995. P. 180105. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.180105>. **17.** DSTU 4770.9:2007. Yakist gruntu. Vyznachennia vmistu rukhomykh spoluk svyntsiu v grunti v bufernii amoniino-atsetatnii vytiazhti z pH 4,8 metodom atomno-absorbtsiinoi spektrofotometrii. [Chynnyi vid 2009-01-01]. Vyd. ofits. Kyiv : «Derzhspozhyvstandart», 2009. **18.** Pro zatverdzhennia normatyviv hranychno dopustymykh kontsentratsii nebezpechnykh rehovyn u gruntakh, a takozh pereliku takykh rehovyn : Postanova vid 17.12.2021 r. № 243. *Uriadovyi kurier*. 2021. **19.** Metodyka provedennia ahrokhimichnoi pasportyzatsii zemel silskohospodarskoho pryznachennia / za red. I. P. Yatsuka, S. A. Baliuka. K., 2019. 108 s.

Hryshchenko O. M., Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Scientific Secretary, Palamarchuk R. P., Acting General Director, Zapasnyi V. S., Head of Department, Alekseienko M. V., Research Fellow, Hryshchenko V. O., Leading Specialist (State Institution «Soils Protection Institute of Ukraine», Kyiv)

POLLUTION OF THE GROUND COVER WITH MOBILE LEAD COMPOUNDS AS A RESULT OF COMBAT OPERATIONS IN THE TERRITORY OF KHARKIV REGION

The article presents the results of agrochemical and ecological-toxicological surveys of agricultural lands affected by hostilities in the Kharkiv region. The aim of the study was to assess the extent of soil contamination with mobile forms of lead, determine the spatial patterns of its distribution, and evaluate potential environmental risks for the further use of agricultural landscapes.

A total of 318 soil samples were collected from 16 sites located within the Izium, Kharkiv, and Chuhuiv districts, covering an area of 1,389.3 hectares. The examined soils are characterized by medium to high natural fertility, and some of them belong to the category of particularly valuable soils of the Left-Bank Steppe province.

The content of mobile lead compounds (Pb) was determined by atomic absorption spectrophotometry in accordance with DSTU 4770.9:2007, using an ammonium acetate buffer solution with pH 4.8.

It was found that the weighted average content of mobile lead compounds in the post-war period was 1.37 mg/kg, which exceeds the pre-war level (0.94 mg/kg) by 0.43 mg/kg (42.6%). The highest Pb concentrations were recorded in local zones of explosions, vehicle combustion, and destruction, confirming the technogenic and anthropogenic origin of contamination. Most of the studied soils are characterized by a low contamination level (57.5% of the area), while moderate contamination covers 41.8% of the territory. The maximum permissible concentration (MPC = 6.0 mg/kg) was not exceeded. Spatial variability (coefficient of variation 9.1–31.4%) indicates the localized nature of metal distribution.

Keywords: agrochemical survey; maximum permissible concentration; soil; military actions; monitoring; pollution level; coefficient of variation.